

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA
OSTRAVA
HORNICKO - GEOLOGICKÁ FAKULTA
Institut environmentálního inženýrství**

**POSOUZENÍ HYDRAULICKÝCH POMĚRŮ VODNÍHO
TOKU HVOZDNICE**

**ASSESSMENT OF THE HYDRAULIC CONDITIONS
OF THE RIVER HVOZDNICE**

Bakalářská práce

Autor:	Robert Boháč
Vedoucí práce:	Ing. Jan Thomas, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Robert Boháč**
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 2102R006 Technologie a hospodaření s vodou
Téma: Posouzení hydraulických poměrů vodního toku Hvozdnice
Assessment of the hydraulic conditions of the river Hvozdnice

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Celková charakterizace toku Hvozdnice
3. Obecné možnosti úprav koryt toků
4. Rámcový návrh opatření toku Hvozdnice v úseku „Otice – Opava“
5. Zhodnocení odtokových poměrů
6. Závěr

Přílohy:

Výkresová dokumentace k zájmovému území

1. Situace
2. Podélný profil
3. Vzorové příčné profily

Seznam doporučené odborné literatury:

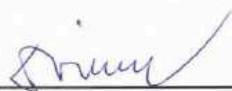
Dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Thomas, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014


prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu




prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne.....

.....

podpis autora

Anotace

Bakalářská práce se zabývá hodnocením hydraulických poměrů na řece Hvozdnici v úseku Otice – Opava. Práce, je rozdělena na 4 hlavní části. V první části jsou uvedeny základní informace týkající se toku a povodí Hvozdnice. V druhé části se práce zabývá obecnými možnostmi úprav toků, se zaměřením na protipovodňovou ochranu a opevnění. Třetí část obsahuje návrhy na posílení ochranných prvků a čtvrtá část hodnotí odtokové poměry ve sledovaném úseku. Celá práce je doplněna mapovými podklady, výpočty a grafy. Přiloženy jsou vybrané příčné profily, podélný profil a situace.

Klíčová slova: úprava toku, kapacita koryta, vegetační, nevegetační a kombinované opevnění

Summary

This thesis deal with assessment of the hydraulic conditions of the river Hvozdnice in section Otice – Opava. Thesis is divided in four main parts. First part include elemental informations of river Hvozdnice. In second part, work looks at commonly used flow regulations, with focus on flood protection and defence. In third part, there is suggestion of empowerment flood protection. And fourth part evaluate the outflow conditions of watched area. In thesis are used maps, grafs and calculations. There are crosswise profiles, endwise profile and situational map as attachment

Key words: flow regulations, capacity of river-basin, vegetational, non vegetational, combined defences

Děkuji vedoucímu práce Ing. Janu Thomasovi, Ph.D., za konzultace a odborné vedení,
za poskytnutí cenných rad, informací a připomínek při zpracovávání mé bakalářské práce.

Obsah

Úvod	1
1. Celková charakterizace toku Hvozdnice	2
2. Obecné možnosti úprav koryt toků	7
2.1 Polder	9
2.2 Ochranné hráze	9
2.3 Opevnění a ochrana ochranných hrází a koryt	10
2.4 Vegetační opevnění	10
2.4.1 Osetím	10
2.4.2 Drnování	11
2.4.3 Travní koberce	11
2.4.4 Hydroosev	11
2.4.5 Osázení vrbovými řízků	12
2.4.6 Vrbový pokryv	12
2.4.7 Haťové povázky	12
2.4.8 Haťové válečky	13
2.4.9 Zápleťový plůtek	13
2.4.10 Haťošťerkové válce	13
2.4.11 Povázkové rošty	13
2.4.12 Vrbové rohože	14
2.5 Nevegetační opevnění	14
2.5.1 Pohozy a jejich rozdělení	14
2.5.2 Zához	16
2.5.3 Rovnanina	17
2.5.4 Kamenná dlažba	17
2.5.5 Betonové dlažby	18
2.5.6 Velkoplošné betonové a železobetonové desky	19
2.5.7 Trávbetonové dlažby	19
2.5.8 Drátokamenné matrace	19
2.5.9 Ochranné sítě	20
2.5.10 Nábřežní zdi	20
2.5.11 Laťový plůtek	20
2.5.12 Sruby	20
2.6 Kombinované opevnění	21
2.7 Vegetační doprovod vodního toku	22
2.8 Zásady pro opevňování břehů koryt:	23
3. Rámcový návrh opatření toku Hvozdnice v úseku „Otice – Opava“	25
4. Zhodnocení odtokových poměrů	28
5. Závěr	35

Úvod

Úpravy toků a zvyšování nároků na ochranu obyvatelstva a majetku je stále aktuální téma. Lidé se odjakživa snažili chránit před tímto živlem a to obzvlášť tam, kde se vyskytovala početnější populace jako například větší města nebo na cenných územích. Potřeba ochrany na vesnicích nebo na menších tocích se s rozrůstající civilizací a změnami krajiny stala mnohem aktuálnější. Díky klimatickým změnám dnes musíme často čelit takzvaným přívalovým srážkám, kdy během krátkého času spadne velké množství srážek, které ztékají po povrchu a způsobují rychlé zvednutí hladin řek. Takovéto extrémy mají většinou lokální charakter. Menší toky nejsou schopné pojmout takovéto množství vody a dochází k lokálním záplavám, proto je důležité věnovat se i menším tokům.

Teoretická část této práce se zabývá zkapacitněním koryt, stavbou ochranných hrází a různými druhy opevnění snižující škody způsobené velkými průtoky vod během povodňových stavů. Ochranné hráže se zřizují především na inundačním území, kde se nachází výnosné zemědělské pozemky, sídliště, zástavba, průmyslové objekty nebo důležité komunikace. Vegetační opevnění je přírodě blízký způsob ochrany břehů, tvořený travinami, stromy a keři. Nevegetační opevnění se používá tam, kde nelze použít vegetačního opevnění z důvodů příliš velkých vymílacích rychlostí a tečného napětí, nebo tam kde je požadavek na co nejmenší drsnost koryta.

Praktická část práce se na základě popsané teorie zabývá možností zkapacitnění koryta řeky v úseku, kde hrozí přetok vod z Hvozdnice do Otického příkopu a tím zvyšuje ochranu zástavby v městské části Opava – Kylešovice.

Cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit stávající hydrologické poměry na řece Hvozdnici a říct obecné možnosti úprav koryta, navrhnout případnou úpravu a porovnat ji se současným stavem. Posuzovaný úsek toku je uměle upravený, situovaný v extravilánu, nacházející se na dolním toku řeky.

1. Celková charakterizace toku Hvozdnice

Řeka Hvozdnice je tokem IV. Řádu, je levostranným přítokem řeky Moravice. Ústí ve výšce 253 m n m jižně od okraje městské části Opavy - Kylešovic. Pramení v podhůří Nízkého Jeseníku nedaleko Horního Benešova ve výšce 610 m n m. Hvozdnice je po celé délce od pramene k ústí je ve správě státního podniku Povodí Odry. Celková délka činí 36,3 km, plocha povodí dosahuje 163,5 km². Obce, kterými po trase protéká, jsou to Bohdanovice, Jakartovice, Mladecko, Dolní Životice, Slavkov a Otice. Pokud zrovna neprotéká zástavbou obcí, vede tok převážně volnou podhorskou krajinou se zemědělskými pozemky a lokálními lesními porosty. Přirozený úsek nad Oticemi po větší části délky směrem proti vodě (km 4,3 - 22,1) lemuje místní trať ČD č. 314 Opava - Jakartovice. Podhorský charakter řeky Hvozdnice udává sklon dna. V nížinné oblasti na dolním toku, se pohybuje okolo 2‰, na horním toku nad Jakartovicemi (nad km 24) dosahuje až na 15‰. Velikost středního zrna splaveninového materiálu je po celé délce v rozmezí od 10 do 30 mm. Průměrný průtok v místě ústí je 0,80 m³.s⁻¹. Z přítoků s velikostí povodí nad 10 km² se do Hvozdnice vlévají Deštná, Stará Voda a potoky Heřmanický, Litultovický a Mikolajický.



Obrázek 1 Zvýrazněná řeka v mapě [1]

Přírodní charakteristiky vodního toku

Skoro celé povodí toku se nachází v geomorfologickém celku Nízký Jeseník, jen malá část dolního toku zasahuje do Opavské pahorkatiny (v opavsko-moravické nivě). Strukturně se jedná o plochou vrchovinu až členitou pahorkatinu kerno-hrásťového charakteru České vysočiny, dolní tok se nachází na kvartéru oblasti s akumulací spraše rovině akumulčního rázu. Geologicky je převážná část povodí tvořena kulmskými drobami, pískovci, slepenci a břidlicemi, na dolním toku usazeninami spraše.

Povodí náleží do klimatických oblastí mírně teplých – MT2, MT7, MT9 a MT10 – víceméně stejně zastoupených. Klimatologická stanice Opava uvádí 8,0 0C průměrnou roční teplotu vzduchu a 640 mm průměrného srážkového úhrnu (vztaženo k dolní části povodí) a klimatologická stanice Horní Benešov uvádí 6,8 0C průměrnou roční teplotu vzduchu a 648 mm průměrného srážkového úhrnu (vztaženo k horní-pramenné části povodí).

Biogeograficky se území rozprostírá v bioregionu nízkojesenickém, před Dolními Životicemi přechází do bioregionu Krnovského (oba hercynské biogeografické podprovincie) a závěr dolní části toku vtéká do bioregionu Opavského polonské biogeografické podprovincie (od Otice). Fytogeografické členění zařazuje povodí do zčásti

do okresu Jesenické podhůří a zčásti do okresu Opavská pahorkatina fytogeografického obvodu Česko-moravské mezofytikum. [1],[2]

Geobiocenologicky přináleží tok až po km 22,0 3. dubo-bukovému vegetačnímu stupni Hvozdnice 3, dále pokračuje 4. bukový vegetační stupeň Hvozdnice 4 a závěr toku za km 35,5 přechází do 5. jedlo-bukového vegetačního stupně. Z trofických řad převládá meziřada A/B (oligo-mezotrofní). Skupiny typů geobiocénů širokých niv (stg habro- a topolo-jilmové jaseniny a dubové jaseniny 3. vegetačního stupně) končí na km 1,5; u potočních stg převládají javoro-jasanové olšiny (Fraxini-Alneta aceris), jasanové olšiny (Fraxini-Alneta) se objevují po celé délce toku jako menší segmenty oddělené maticí javoro-jasanových olšin (s výjimkou úseku na konci 3. vegetačního stupně a ve 4. vegetačním stupni).

Tok prochází ve své dolní části zemědělskou krajinou s úsekem lesnatého údolí s krátkými stráněmi za Oticemi (ekologicky významné segmenty krajiny); do vrchoviny Nízkého Jeseníku vychází dlouhým táhlým údolím a v pramenné části přechází do lesních komplexů.

Přírodovědně (a esteticky) cenné je údolí mezi Oticemi a Šťáhlovským Mlýnem, dále části v lesním komplexu nad Bohdanovicemi a v pramenné části. Údolí střední části toku jsou přece jen více ovlivněna blízkostí železnice a silnice.

Hydrologické poměry - Z hlediska prevence ochrany před povodněmi byla do poslední doby za nejsvízelnější považována situace v obci Otice na dolní části toku. Již v šedesátých letech minulého století se zde uvažovalo se zkapacitněním koryta, nedostatek prostředků a povodňově relativně klidnější období poté, co byly zřízeny podniky Povodí, naléhavost a realizaci toho záměru později poněkud odsunuly. Průběh těsně po sobě následujících povodní v letech 1996 a 1997, které navíc v obou případech způsobily přetok vod Hvozdnice do Otického příkopu v levobřežním prostoru pod Oticemi a zaplavení tak části Opavy - Kylešovic, vedly v nejposlednější době (2009 - 2010) k úpravě a zkapacitnění koryta přes tuto obec a ke zřízení levobřežní hráze podél staré úpravy v úseku pod Oticemi. Hlavní povodňový problém poslední doby byl tak na Hvozdnici vyřešen.

Lze tak konstatovat, že prakticky veškerá zástavba na toku má nyní přiměřenou ochranu alespoň na dvacetiletou vodu a i v ostatním nezastavěném území je rozsah inundací výrazně omezen. V mezilehlých úsecích mezi obcemi, tvořených nezastavěnou nivou s mnohdy meandrujícím korytem, se rozsah záplavového území soustřeďuje na pruh

v šíři 50 - 300 . Největší šířky pro případ extrémnějších povodní (nad Q₂₀) dosahuje inundační území v prostoru údolnice tzv. Otického příkopu. [1],[2]

Zhodnocení stávajícího stavu toku

Zvolený úsek řeky Hvozdnice pro tento projekt (ř. km 2 - 0) se celý nachází v extravilánu, jedná se o úsek, jež byl uměle upraven (nejedná se o přirozené koryto). V této části řeky se vyskytuje několik objektů a to: limnigrafická stanice Otice, výpustní objekt z ČOV Otice, několik dřevěných stabilizačních prahů, železniční a silniční most a lávka pro pěší. V této části řeky se nevyskytují žádné odběrové místa. Vyskytuje se zde jeden brod zpevněný lomovým kamenem.

V dokumentovaném úseku se šířka koryta pohybovala v rozmezí 2 až 4 m a hloubka od 15 do 50cm, také je zde pravostranný přítok řeky Macalky. Trasa koryta byla spíše rovinná s občasnými zákruty.

Stav břehů a dna - frakce ve dně se pohybovala okolo 10-30mm s občasnými většími kameny. Stabilizace dna zajištěna několika dřevěnými prahy. Opevnění břehů srubovým opevněním do výšky běžných nezvýšených průtoků místy lehce poškozenými. Na březích nebylo patrné žádné větší poškození kromě jednoho místa (vymletý levý břeh v délce asi 10m). Pravý břeh je v celé délce zpevněn stromy (staršími i nově nasazenými), levý břeh lemují stromořadí, les a prázdná místa bez vegetace (pole).

Vzhled a role v krajině – na korytě a jejím okolí je patrné, že byly upraveny v nedávné době a proto na nich není patrné žádné větší poškození či snad nadměrný zarůst vegetací. Protože se tento úsek nachází za obydlenou oblastí občas se v samotném korytě vyskytne igelitový sáček nebo PET láhev, avšak pouze v jednotkách kusů. Řeka slouží jak pro akumulaci a následný bezpečný odvod vody z okolní krajiny tak i jako oblast pro živočichy a rostliny potřebující ke své existenci větší výskyt vody.

Kvalita vody v Hvozdnici, sledovaná v profilu ústí, je celkově klasifikována IV. třídou vlivem trvale vysokého obsahu fosforu, který pochází z vypouštěných splaškových vod z přilehlých obcí a nedostatečně čištěných vod ze zemědělského areálu v Oticích. Podle ostatních vybraných ukazatelů, (BSK₅ i CHSKCr) a dusičnanového dusíku voda spadá do III. třídy jakosti jako voda znečištěná. Ve sledovaných ukazatelích fyzikálně chemických je na dobré úrovni, podle počtu termotolerantních koliformních bakterií je hodnocena II. třídou jakosti jako jen mírně znečištěná.

V Plánu dílčího povodí Horní Odry, do jehož celkového rámce řeka Hvozdnice spadá, byl sestaven pro nejbližší období (do r. 2015) i návrh opatření, jak zlepšit celkový ekologický stav řeky. Plán se týká:

- bodového zdroje znečištění: dostavbu kanalizace v Dolních Životicích, Litultovicích a spolu s novou čistírnou odpadních vod i v Mladecku
- revitalizací toků - revitalizaci, resp. renaturaci v dřívějšku upraveného úseku Hvozdnice v trati pod Oticemi (km 0,14 - 1,8)[1],[2]

2. Obecné možnosti úprav koryt toků

Každý umělý zásah do současného stavu koryta v určitém úseku se projeví obvykle ve změnách krajiny v okolí toku a v úsecích nad i pod tímto upraveným místem. Proto by měl být zásah posouzen z hlediska účinků na vodní tok i okolní krajinu. Výsledný navržený zásah, by pak měl nejen stabilizovat vodní tok mechanicky, ale i jej esteticky začlenit do krajiny, případně posílit její ekologickou stabilitu. Splnění všech těchto požadavků je často velmi obtížné, proto se často volí optimální kompromisy.

Nejčastějším důvodem úpravy toku je zabránění nebo snížení množství škod, které vodní tok způsobuje během povodní. Dalším důvodem úpravy koryta toku je možnost lepšího využívání okolí i samotného toku (plavba, odběry vody, rekreace, výroba energie, prostor pro komunikaci, atd.). [3]

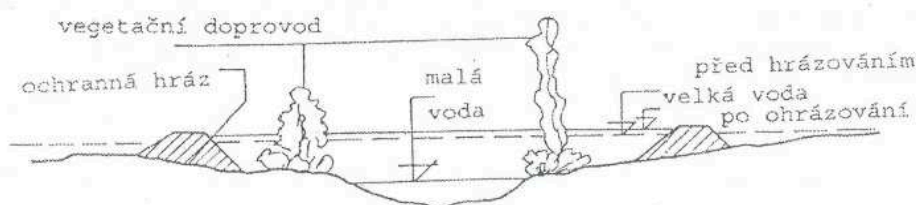
Nevyhovuje-li neupravené koryto kapacitně návrhovému průtoku, nutno provést jednu z následujících úprav:

- zkapacitnit koryto
- snížit kulminace povodňových průtoků
- nad posuzovaným úsekem povodňové průtoky odlehčovat
- zřídit ochranné hráze

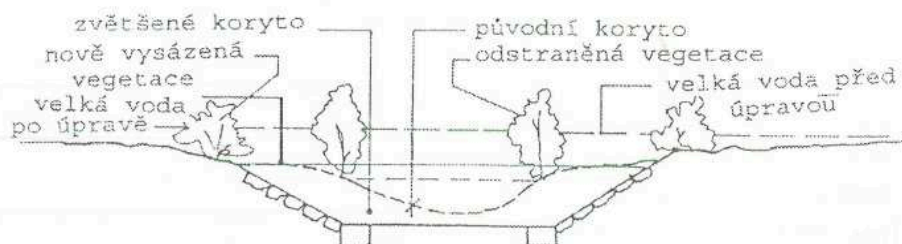
Výsledný návrh úpravy by měl vyplívat ze zhodnocení a porovnání možností těchto úprav a to jak z ekonomického hlediska, tak i z hlediska proveditelnosti. Výsledný návrh může být kombinací více opatření. Během plánování zkapacitnění koryta je nutno brát na zřetel, že dojde k velkému poškození nebo snad úplné likvidaci břehového porostu. Co se týče odlehčování průtoků, jsou zde možnosti suchých odlehčovacích ramen nebo suchých/polosuchých poldrů. V praxi se nejčastěji používá kombinace zkapacitnění koryta a ohrázování toku. V extravilánu se většinou střetávají dvě koncepce a to: pouhé ohrázování toku nebo zvětšení koryta toku (s možností změny vinutí) a s hrázemi podél toku.

U toků s šířkou okolo 2 m je z ekonomického hlediska výhodnější zjednodušená úprava s pouhým ohrázováním toku. U velkých toků je úprava s pouhým ohrázováním výhodnější tehdy, je-li umožněno v mezihrází luční hospodářství.

Zvětšování kynety na úkor mezihrází je obvykle z hlediska hospodárnosti nevhodné. Velikost kynety je určena podmínkou, aby rozvily do mezihrázního prostoru nebyly příliš časté (tzn. umožnění lučního hospodářství v mezihrází) a aby doba zdržení vody v tom prostoru neumožňovala podmáčení přilehlých zemědělských pozemků, případně přerušení gravitačního zaústění přítoků a srážkových vod do toku. Z toho důvodu se doporučuje dimenzovat kynetu takovým způsobem, aby zatopení mezihrází v průměrném roce nepřesahovalo 2 týdny. Jedná se však o obecný návrh, vždy se musí posuzovat podmínky a možnosti v úseku kde úpravu navrhujeme.[4],[5]



Obrázek 2 Úprava toku ohrázováním



Obrázek 3 Úprava toku zkapacitněním koryta

2.1 Polder

(psáno také poldr) je vodní dílo sloužící k protipovodňové ochraně. Je vytvořeno přehrazením vodního toku, za hrází se však voda za běžných podmínek buď neakumuluje vůbec (suchá nádrž či suchý polder), nebo je objem nádrže zaplněn jen částečně (polosuchá nádrž či polosuchý polder). Poldry jsou hojně využívány v oblastech s monzunovými dešti (např. jižní Asie, řeka Brahmaputra), kde je potřeba chránit se před velkými průtoky během vydatných deštů a potřeba akumulovat vodu pro sušší období.

Suché poldry v období běžných průtoků neakumulují žádný objem vody, celý jejich objem je určen pro zachycení vody při povodni. V poslední době se od stavby tohoto typu poldru upouští z důvodů technické bezpečnosti (proschlá hráz) a nepříliš efektivního hospodaření na ploše poldru.

Polosuché poldry, jsou z ekologického pohledu mnohem atraktivnější i funkčnější. Polosuché poldry mají stálé částečné nadržení vody. Pata hráze je neustále zvlhčována. V ploše poldru se nacházejí mokřady a tůňe, nebo tudy prochází vodní tok, tímto se také přispívá k biologické rozmanitosti oblasti. V tomto typu poldru není možné provádět zemědělskou činnost.[6] [9] [12]

2.2 Ochranné hráze

Zřizují se především na inundačním území, kde se nachází výnosné zemědělské pozemky, sídliště, zástavba, průmyslové objekty nebo důležité komunikace. Návrh na jejich zřízení by měl vyplynout z technicko- ekonomické analýzy. Pokud se počítá s využitím hráze pro komunikaci, jsme povinni se řídit normou pro: Křížení a souběhy vodních toků s dráhami, pozemními komunikacemi a vedeními ČSN 75 2130. Sklony svahů se navrhují podle použitého materiálu, ale nemají být strmější než 1 : 2 a to hlavně z důvodu údržby (sečení). Příčný profil ochranné hráze musí být navržen tak, aby průsaková čára procházela základovou spárou hráze. Nikdy nesmí průsaková křivka procházet vzdušním svahem. U vyšších hrází se vzdušný svah přerušuje lavičkou a to asi v každých 2,5m výšky hráze. Šířka lavičky by měla být alespoň 2,0 m a její sklon, kvůli lepšímu odvodnění 1 : 10. Na návodní i vzdušné straně musí zůstat nepřerušovaný pás v šířce 6 – 10 m, ve kterém se nesmí orat ani hloubit materiálové jámy.[4] [5]

2.3 Opevnění a ochrana ochranných hrází a koryt

Hráze se zpravidla pouze zatravňují, odolnějším opevněním se hráze chrání když, jsou vystaveny velkému namáhání proudící vodou, vlnami, chodem ledů, plovoucími předměty nebo jsou vystaveny dlouhodobému účinku vody způsobujícího vyhnití vegetačního pokryvu. Korunu hráze je nutné zabezpečit proti povětrnostním vlivům, odvodnit a zamezit poškození vozidly. [4] [5]

2.4 Vegetační opevnění

funkční i estetická hodnota vegetačního opevnění je hlavně ovlivněna vlastnostmi použitých rostlin, proto je nutné konzultovat výběr se zkušeným odborníkem. Při výběru vhodných rostlin je nutno vzít v úvahu půdní a klimatické podmínky, hydraulické vlastnosti toku, zpevňující a růstové vlastnosti, životnost i širší vztahy k okolí. Dřevinná vegetace je hlavním stabilizačním prvkem vegetačního opevnění. Co se týká výběru dřevin, je potřeba používat takové druhy, které se nejlépe vyskytují v okolí nebo se obvykle vyskytují v obdobných podmínkách. Jedná se nejčastěji o vrby, olše, topoly, svídy, duby, lípy, jilmy, javory, jasan ztepilý a habr. V jižní Asii se například místo vrb používá bambus.

Nejrozšířenější a nejčastěji používaným vegetačním opevněním je zatravněním a to jak osetím, drnováním, osetím nástríkem nebo položením travního koberce.

U travních porostů je hlavním požadavkem vytvoření souvislého a odolného obkladu zemního svahu. Poté je podle některých zdrojů schopen odolávat rychlostem až $4,0 \text{ m s}^{-1}$ a tečnému napětí až 100 Pa . V e většině případů se však počítá s průměrnou hodnotou nevymílací rychlosti $2,0 \text{ m s}^{-1}$ a kritickým tečným napětím 80 Pa . [5],[7],[9], [12]

2.4.1 Osetím

zakládá travní porost při opevnění zejména konvexních břehů, vzdušných i návodních svahů hrází, bermy, atd.. Semena se zapravují do urovnané vrstvy ornice v min. tloušťce 10 cm a to buď ručně, nebo strojně. Sklon svahů pro zakládání travního porostu by neměl být větší než $1 : 2$ a to z důvodů údržby i stability. [5],[7],[9]

2.4.2 Drnování

používá se tam, kde je nutno dosáhnout vytvoření souvislého opevnění dřívě, než by se ho dosáhlo osetím. Drnování lze provést v souvislé pluše nebo lze pásy klást šachovitě. V případě potřeby lze drnové pásy přichytit ke svahu pomocí dřevěných kolíků. Spáry se vyplní ornici a osejí. Drnování se nepoužívá příliš často z důvodů, že vyžaduje mnoho ruční práce a zdroje drnu nejsou neomezené. Proto se používá nejčastěji jen na přechody mezi tvrdým nevegetačním opevněním a přechodem nebo při opravě poškozeného travního porostu. [5],[7],[9]

2.4.3 Travní koberce

používá se jako částečná náhrada za drn z přirozeného prostředí. Předpěstovává se na jutě, plastické folii nebo na síťovině rozložené na pevném podkladu, aby k ní koberec nepřirostl a pokryté 3 až 5 cm humózní vrstvy, která je standardně osetá. Během asi 40 dní je takto připravený travní koberec možno použít pro opevnění. Jejich výhodou je úspora humózního materiálu, nízké nároky na kvalitu podkladové zeminy a částečná odolnost zatížení ihned po položení. Nevýhodou je potřeba velkých zpevněných ploch pro výrobu a nároky na přepravu. [5],[7],[9]

2.4.4 Hydroosev

nebo také osev nástřikem, provádí se mechanickými prostředky, technologií a takovými příměsemi, aby bylo docíleno založení travního porostu zhruba stejné kvality jako při osetí. Na urovnanou pláň se pomocí hydromonitoru nastříkají organické látky v kašovitém stavu (organické kaly, komposty, rašelina) současně s osivem, kombinovaným hnojivem a bituminézní látkou, která slouží pro ukotvení hydroosevu k povrchu půdy a v počáteční fázi chrání před nežádoucími účinky srážkové vody a větru. Výhodou je úspora humusu, malý přesun hmot, vysoký stupeň mechanizace. Nevýhodou hydroosevu je nižší spolehlivost vzrůstu travního porostu vzhledem k ostatním metodám. [5],[7],[9]

Vrbové porosty používají se především na nárazových konkávních březích a tam, kde nelze použít travního porostu. Opevnění vrbovým porostem je skoro dvojnásobně odolnější než travní porost. Bohaté kořenové systémy chrání povrch před odnosem,

nadzemní část je velmi ohebná takže se přimyká k povrchu a snižuje rychlost proudění v břehových partiích. Vrbový materiál se získává z keřovitě rostoucích vrb. Mezi nejčastěji používané vrby patří: košíkářská, nachová, červená, trojmužná, drsnovětvá, americká. Pro použití do vrbových pokryvů, zápletkových plůtků, haťových a haťošterkových válců jsou nejlepší pruty o délce cca 2 m a průměru 2 až 4 cm. Kratší pruty se používají v oživených srubech, rovnaninách a záhozech. Jelikož tento druh opevnění silně ovlivňuje kapacitu koryta, je zde důležitý poměr omočeného obvodu opevněných svahu k celkovému omočenému obvodu. Čím, je koryto užší tím je vliv větší. [5],[7],[9]

2.4.5 Osázení vrbovými řízků

používá se k opevnění svahů, k oživení těžkých pohoží, rovnanin, záhoží a k stabilizaci šterkových nánosů. Příprava řízků probíhá v období vegetačního klidu. Připravené řízků v délce 30 až 50 cm a průměru 1 až 3 cm se skladují tak, aby nedošlo k jejich vyschnutí. Do půdy se zapouští tak, aby vyčnívalo alespoň jedno očko. Nevýhodou tohoto způsobu opevnění je pracnost, nemožnost použití mechanizace a dosažení plné odolnosti po dvou a více letech. [5],[7],[9]

2.4.6 Vrbový pokryv

zhotovuje se z vrbového klestu o celkové tloušťce 5 až 10 cm, kde tloušťka jednotlivých prutů by neměla přesáhnout 4 cm. Silnější konce prutů se zapustí do země, aby byla zajištěna vláha. Klest se připevňuje ke svahu páleným drátem nebo povázkami, případně vrbovým opletem. Připevněný klest se pokryje zeminou, tak aby nedusila růst kořenů. Používá se v kombinaci s laťovým plůtkem, haťošterkovým válcem nebo kamenným záhozem. Důležitá je údržba, zejména seřezávání vzrostlých prutů co 3 roky. [5],[7],[9]

2.4.7 Haťové povázky

jsou svazky vrbových prutů 2 až 3 cm silných, šířka svazku se pohybuje v rozmezí 8 až 12 cm. Požití: vytvoření provázkových roštů, přichycení vrbového pokryvu nebo vázání haťových konstrukcí. [5],[7],[9]

2.4.8 Hat'ové válečky

sou, co se týká konstrukce stejné jako povázky akorát jejich průměr je větší (12 až 20 cm). Používají se k zajištění paty svahu nebo do hat'ových staveb. [7] [9]

2.4.9 Zápletový plůtek

používá se jako přechod mezi tvrdým opevněním a přirozeným materiálem koryta, nebo k zajištění paty svahu. Dělá se jako jednořadý nebo dvouřadý. Je tvořen z vrbových kůlů o průměru 8 až 10 cm a délce min. 120 cm. Tyto kůly jsou zabity do země do tří čtvrtin své délky v maximálním rozestupu 60 cm. Mezi kůly se provádí záplet z vrbového klestu o průměru 2 až 4 cm, přičemž silnější konec se zaráží do země. Pletivo se po zapletení stluče dřevěnou palicí a místy se zajistí za pomoci hřebíku ke kůlu. Záplet je zasypán směrem ke svahu zeminou až po hlavy kůlů v mírném sklonu nebo vodorovně. [5],[7],[9]

2.4.10 Hat'ošterkové válce

přizpůsobují se dobře nerovnostem a změnám dna, jsou pevné a pružné. Jsou tvořeny šterkovým nebo kamenným jádrem a obalem z vrbového klestu. Obal musí mít minimální tloušťku 15 až 20 cm, průměr válce se pohybuje mezi 80 a 120 cm. Obsah písku v jádru nesmí přesáhnout 20 %. Délku válce omezují výrobní možnosti a manipulovatelnost s válcem. Výroba válců se provádí na kozlících nad místem uložení. Konce válců musí být staženy tak, aby se z nich materiál jádra nesypal. Požívají se k zajištění pat svahů. Výroba musí být vždy z čerstvých prutů. [5],[7],[9]

2.4.11 Povázkové rošty

jsou z hat'ových povázek rozložených a přichycených na svahu uhlopříčně ve vzdálenosti cca 1 m. Prostor mezi nimi je vyplněn zeminou nebo šterkem, případně osetý. [5],[7],[9]

2.4.12 Vrbové rohože

vytvářejí se strojním splétáním vrbový prutů, kde průměr prutu je okolo 1 cm a u tlustšího konce průměr nepřesahuje 2 cm. Aby, byl tvar role pravidelný, splétají se pruty vzájemně vystřídané vzhledem k jejich růstu. Na výrobu takovýchto rohoží se používá převážně vrba košíkářská. Takto připravená role se rozbálí na urovnaném svahu, přichytí kolíky a překryje vrstvou humusu o tloušťce maximálně 3 cm. [5],[7],[9]

2.5 Nevegetační opevnění

jeho použití se navrhuje tam, kde nelze použít vegetační opevnění a to nejčastěji z těchto důvodů:

- tečné napětí překračuje nejvyšší dovolené tečné napětí pro vegetační opevnění (v okolí jezů, stupňů, objektů, při velkém sklonu nivelety dna).
- vznik makroturbulentních jevů (mostní pilíře, odběry vody, zaústění přítoků, odpadů)
- nevhodné podmínky pro vegetační opevnění podmínky (splaveninový režim - obrus, zanášení, vymílání; silné znečištění vody)
- požadavek na, co nejhladší koryto (průmyslové přivaděče vody, průmyslové odpady, přívodní kanály k elektrárnám, některé městské tratě).
- materiálové zdroje a materiálové možnosti dodavatele, hledisko údržby.[5],[7],[9]

2.5.1 Pohozy a jejich rozdělení

Hlavní představitel poddajných opevnění, dostává přednost před ostatními druhy nevegetačního opevnění.

Podle použitých materiálů a úpravy povrchu se dělí, na:

- a) prostý pohoz - rozhrne se a urovná na upravenou plochu do předepsaného profilu a tloušťky, je zde možnost zvýšení odolnosti zhutněním (válcováním), pak při použití materiálu odpovídající zrnitosti mluvíme o šterkovém koberci.
- b) stabilizovaný pohoz - má povrch a někdy i část své tloušťky stabilizovanou uměle.

Podle velikosti použitého zrna se dělí pohozy na:

- 1) těžké - většinou neupravená lomový kámen (tříděný nebo netříděný) s hmotností do 200 kg nebo s hmotností nad 200 kg.
- 2) Lehké - jejich materiálem mohou být buď, přirozený materiál údolní nivy (štěrky s požadovanou velikostí efektivního zrna d_e), nebo hrubého drceného kameniva požadované frakce.

Ve zvláštních případech může být jako materiál pro pohozy použit lomový odpad, vysokopecní struska, betonové prvky, atd.. Takovýto pohozy musí vyhovovat normám ČSN 73 6820, ČSN 73 6821. [5],[7],[9]

Konstrukce pohozy

Celková tloušťka pohozy musí být alespoň 15 cm a musí být nejméně třikrát větší než efektivní zrno pohozy d_e . Provedená tloušťka musí dosahovat alespoň 90 % předepsané tloušťky. Materiál pohozy je rozhrnut a urovnán do předepsané tloušťky. Jednou z výhod pohozy je možnost provádět je s velkou přesností i pod hladinou, při použití vhodné technologie. Opevněné svahy by neměl být strmější než 1 : 2,5, výjimečně 1 : 2. Je-li podloží z hlinitého nebo jemnozrnného materiálu, je nutné chránit před mechanickým vymíláním za použití filtrační vrstvy, nebo technickými foliemi. [5],[7],[9]

Použití pohozy

- 1) Těžké pohozy z lomového kamene - Používají se k opevňování horských toků s velkými rychlostmi vody, splavných toků a kanálů a k opevňování dna v okolí objektů. Stabilizace se provádí buď biologicky (oživený pohozy). Mezery se vysypou zeminou a zasadí se vrbové řízky, nebo se pohozy přímo ukládá na podestýlku z klestu nebo řezanky z proutí o délce asi 30 cm. Nebo prolitím spár betonem, asfaltobetonem, nebo injektáží. Použití pohozy z lomového kamene je do jisté míry podmíněno dostupností materiálových zdrojů. [5],[7],[9]

- 2) Lehké pohozy – Zřizují se na malých i větších tocích. Při použití materiálů údolní nivy se podstatně sníží náklady na dopravu. Při použití drceného kameniva musí být brán zřetel na dostupnost zdroje kameniva a ekonomická rozvozná vzdálenost. Stabilizace může být provedena biologicky, nebo chemicky. Biologickou stabilizací je myšleno vytvoření oživeného šterkového koberce (travní porost). Za chemickou stabilizaci se uvádí nástřik pryskyřicí, latexem, živicí, nebo cementovou maltou. [5],[7],[9]

Pohoz stabilizovaný oživením je odolnější proti chodu ledu a splavenin než pohoz prostý.

Není-li opevněno dno, měly by být při návrhu pohozu dodrženo následující:

- opírání pohozu o záhozovou patu v případech, kdy namáhání paty svahu je takové, že nestačí zrnitost pohozu, svahy jsou strmější než 1 : 3, svah je ze soudržných materiálů.
- v ostatních případech navrhovat pohoz ve tvaru klínu (s největší tloušťkou u dna), nejvhodnější je zapouštět pohoz pod rovinu průměrného dna, stejně jako u zapuštěné patky.

Odolnost pohozu

Je závislá nejen na velikosti efektivního zrna de, na tvaru čáry zrnitosti (čím stejnozrnější, tím menší odolnost), tloušťce pohozu, ale i na způsobu a kvalitě urovnání povrchu. [5],[7],[9]

2.5.2 Zához

Patří k jednomu z nejodolnějších opevnění. Užívá se hlavně k ochraně paty svahu, u větších toků, kde není možné vegetativní opevnění z důvodu, že hladina malých vod je relativně vysoko nade dnem (vzduté tratě), jako mezičlánek mezi tvrdým opevněním (dlažba, prahy, panely) a přirozeným materiálem koryta. Zához může být zapuštěný, nebo částečně vystupující ze břehu, nebo dna.

Buduje se z lomového kamene, prefabrikovaných prvků (krychle, mnohostěny). Největší rozměr jednotlivého kusu má být menší než trojnásobek jeho nejmenšího rozměru, nesmí se používat zaoblené, nebo ploché prvky. Pro zvýšení hutnosti se používá prošterkování záhozu, případně se dlažbovitě urovnávají viditelné plochy. Často se používá v kombinaci

s vrbovým pokryvem, nebo pohozelem. Mezi výhody záhozů se řadí možnost budování i pod hladinou, snadné doplňování poruch novým materiálem, chrání svah i při své značné deformaci. Nevýhodou záhozů je velký sklon znesnadňující přístup k toku a rozměr jednotlivých prvků. [5],[7],[9]

2.5.3 Rovnanina

Buduje se z neopracovaných kamenů nebo betonových prvků, kladených na sucho s vazbou v podélném i příčném směru (běhouny, vazáky). Lícní plochy se dlažbovitě urovnají a dutiny se vyklínují menšími kameny. Velikost používaného kamene by neměla být menší než 20 cm a sklon svahů maximálně 45°. Používá se v exponovaných úsecích, v blízkosti objektů, nebo jako patka. [5],[7],[9]

2.5.4 Kamenná dlažba

Je nejbezpečnější a nejtrvanlivější opevnění, ale je poměrně drahé a má vysoké požadavky na kvalitní kvalifikovanou ruční práci. Používají se dlažební kameny s rozměrem nejméně 20 cm, vytvořené spáry nesmějí být průběžné, mají mít šířku asi 2 cm. Dlažba musí na svahu vytvořit dobrou vazbu. Kameny se kladou do šterkopískového lože, případně do betonu, má-li přirozený materiál podloží vhodné zrnitosti, může se od podsypné vrstvy upustit. Umělý i přirozený podklad dlažby je nutné řádně urovnat a odvodnit. [5],[7],[9]

Používají se čtyři typy kamenných dlažeb:

- a) Dlažba na sucho - podkladem je podsypná vrstva o minimální tloušťce 10 cm, spáry jsou vyplněny hrubým pískem. Používá se k opevnění břehů v běžných tratích.
- b) Dlažba se zalitím spár cementovou maltou - užívá se pro tratě s většími rychlostmi vody, z hygienických a estetických důvodů v městských tratích. Spáry se vyškrábou na hloubku 7 cm, dlažba se prolije čistou vodou, spáry se očistí a zatrou maltou tak, aby zůstala asi 0,5 cm pod povrchem dlažby. Někdy se místo malty používá asfalt.
- c) Dlažba na cementovou maltu s vyspárováním - kameny jsou kladeny do odvodněné vrstvy malty tloušťky 3 cm, spáry se vyplní cementovou maltou a

zadusají tak, aby podkladní malta byla max. 7 cm pod povrchem dlažby, po vyčištění spár se dlažba spáruje cementovou maltou a na povrchu vypálí. Užívá se v exponovaných úsecích v blízkosti objektů, kde by porušením dlažby mohlo dojít k porušení části objektů.

- d) Dlažba do betonového lože - kámen je kladen do odvodněné vrstvy čerstvého betonu, jehož tloušťka je minimálně polovina tloušťky dlažby, betonový podklad se odvodňuje nejčastěji šterkopískovou vrstvou. Užívá se v místech s mimořádně velkými rychlostmi vody a při mimořádném ohrožení dna nebo břehů (skluzy, vývary). [5],[7],[9]

Dlažby by neměly být pokládány na svahy se sklonem větším než 1:1, je nutné zajistit spojitost podzemní vody s vodou v korytě. Provedení je pracné, vyžaduje dostupný zdroj kvalitního lomového kamene a může se provádět pouze v suchu. [5],[7],[9]

2.5.5 Betonové dlažby

Budují se tam, kde není dostatek lomového kamene a kde to dovolují místní podmínky. Vytváří se z tvárnic, nebo se betonují přímo na svahu. Minimální velikost dlaždic je 40 x 40 x 10 cm. Dlaždice mohou být obdélníkové, čtvercové, šestiboké, zazubené. Zásady pro jejich kladení jsou stejné jako u kamenné dlažby, včetně podsypu a spár. Ve výsledku musí tvárnice vytvořit jednolitý celek. [5],[7],[9]

Odolnost betonové dlažby je podobná jako u kamenné dlažby, při stejné hmotnosti jednotlivých prvků. Potřebné tuhosti obkladu docílíme zazubením, vytvořením pera a drážky, hmotností prvku, nebo spojením tvárnic v rozích na stranách drátěnými oky a vytvořením souvislé rohože. Dobrá funkce musí být zajištěna patkou z betonu, nebo lomového kamene. Tvárnice musí být dostatečně drsné, aby umožňovaly přístup k vodě a také omezily výběh vln na svah. [5],[7],[9]

2.5.6 Velkoplošné betonové a železobetonové desky

Uplatňují se při stavbách melioračních, energetických a průplavních kanálech, průmyslových přivaděčů a odpadů vody, kde plní zpevňovací i těsnicí funkci. Zhotovují se přímo na místě mechanickými výrobními a montážními prostředky. Betonové opevnění se při úpravách běžných toků nepoužívá, neboť není příliš trvanlivé, trpí obrusem splaveninami, agresivní vodou, má malou drsnost vzhledem k drsnosti dna, neumožňuje infiltraci vod do údolní nivy. [5],[7],[9]

2.5.7 Trávobetonové dlažby

Budují se z betonových prefabrikovaných tvárnic, které částečně spojují výhody vegetačních a nevegetačních druhů opevnění. Otvary v tvárnicích umožňují dobrou spojitost vody v korytě s vodou podzemní. Po rozvinutí kořenového systému drnu v otvoru a ve spárách nastává dobré spojení s podložím. Drsnost zvětšená travou omezuje erozní účinek vody a umožňuje chůzi a práci na svahu. Takováto dlažba s dobře zapojeným a rozvinutým drnem odolává průměrně rychlosti vody 3 m.s^{-1} a drsnost charakterizovaná Manningovým součinitelem byla změřena $n = 0,0025$. Vzhledem k velikosti oseté plochy je potřeba chránit osetí např. plastickou síťovinou, která se lepí k betonu, případně se svah stříká latexem nebo živičnou emulzí a to do té doby než je plně rozvinut kořenový systém.. Spojením rohů železnými oky vznikne pružný rošt. [5],[7],[9]

2.5.8 Drátokamenné matrace

Používají se k ochraně objektů, jako patky břehových opevnění, jako stavební prvky některých konstrukcí (stupně ve dně, přehrážky, koncentrační stavby), při stabilizaci šterkonosných toků, do opěrných zdí, do mostních pilířů. Zhotovují se z drátěných splétaných nebo svařovaných konstrukcí šířky 1 - 2 m, výšky 0,3 - 1 m, délky 1 - 5 m. Do těchto konstrukcí se vyrovná výplň z říčních valounů, lomového kamene nebo betonových úlomků. Tvárnice se většinou vyrábějí přímo na místě uložení, případně mimo a pak se uloží jeřábem, v tomto případě je nutná dostatečně tuhá kostra, aby se matrace nedeformovaly. [5],[7],[9]

2.5.9 Ochranné sítě

Vyráběny z drátů nebo z umělých hmot. Většinou se kombinují buď s kamenivem, nebo s travním porostem. Slouží se jako separační prvek mezi dvěma materiály (pohoz na hlinitém podloží). Díky velkému výběru folií, technických textilií a sítovin je nutné při návrhu opevnění dokázat vhodnost a účelnost na zkušebním úseku nebo pomocí výzkumu. [5],[7],[9]

2.5.10 Nábřežní zdi

Používají se v zastavěném území, kde jsou stísněné poměry a u objektů a při mimořádném zatížení břehů. Základním tvarem příčného profilu zdi je lichoběžník, kde šikmá může být jak návodní tak vzdušná strana. Sklony líce se pohybují od 5:1 až 12:1. Zdi musejí být založeny pod úroveň očekávaného prohloubení dna (konkávy) a v nezámrzné hloubce.

Při zvýšené agresivitě vody, zejména v městech a průmyslových aglomeracích, nebo při nebezpečí obrusu splaveninami se betonové zdi obkládají kamenem, nejlépe žulou. [5],[7],[9]

2.5.11 Lat'ový plůtek

Zřizuje se k zabezpečení pat svahů zpevněných vegetačním způsobem. Nejvyšší přípustná výška nade dnem je 30 cm a hloubka založení pod úroveň dna je nejméně 30 cm. Díky své životnosti, se považuje za dočasný zpevňovací prvek. Zásyp za lat'ovou stěnou musí být dobře udusán v mírném sklonu do koryta. Na menších tocích se osvědčilo zpevnění lavičky vzniklé za plůtkem pohozem.

Konstrukce je stejná jako u zápletových plůtků, místo opletu jsou použity tyče 10 cm v průměru, půlené tyče, odkory, desky, atd.. [5],[7],[9]

2.5.12 Sruby

Zhotoveny ze dřeva, nebo železobetonových prefabrikátů a vyplněny lomovým kamenem, lomovým odpadem, případně materiálem získaným na místě stavby. Dřevěné sruby a stěny jsou brány jako dočasné, s životností asi 10 let. Užívají se tam, kde je dostatek kvalitního a laciného dřeva. [5],[7],[9]

2.6 Kombinované opevnění

Vytváří se oživením některých druhů nevegetačního opevnění.

Těžké pohozy

Mezery mezi kameny jsou vyplněny zeminou a do nich jsou poté zasazeny vrbové řízky, případně se kámen ukládá přímo na klestovou podložku.

Lehké pohozy

Většinou se zatravňují, kdy humózní vrstva by měla být při $d_e = 5$ cm, 3 - 5 cm tlustá a při $d_e = 10$ cm, 5 - 7 cm tlustá. Není na závalu, když část zrn vyčnívá nad rovinu svahu, výběžkaté trávy rychle nerovnosti terénu srovnají, zejména nechají-li se první dvě seče, při výšce traviny 10 až 15 cm, ležet.

zához

Oživuje se vrbovými pruty, zasazenými do mezer mezi kameny, které se vyplní štěrkem a zeminou (není vždy nutné, mezery se brzy zanesou materiálem transportovaným vodou).

rovnanina

Oživena prokládáním svazky vrbových prutů.

dlažby

Možno střídát oseté a vydlážděné plochy.

sруб

Vytváří se z několika řad laťových plůtků, mezi jejichž horní dvě tyče se stáhne vrbový klest, kladený po svahu. Spojnice horních hran plůtků nesmí přesáhnout sklon 1 : 1,5

Stejně jako u vegetačního opevnění je nutno brát v úvahu při návrhu zvýšenou drsnost oživené části omočeného obvodu koryta. Při nedostatečné údržbě (příliš velkému zárůstu) je nutno až vyloučit ve výpočtech z průtočné plochy tu část, kterou může zaplnit neudržovaná keřovitá vegetace. [5],[7],[9]

2.7 Vegetační doprovod vodního toku

Návrh vegetačního doprovodu je nutnou součástí dokumentace úpravy toku. Tento návrh by měl v co největší míře vycházet z místních podmínek a měl by co nejvíce využívat existující stromové a keřové porosty. Zpracování návrhu by mělo vycházet z ČSN 73 6827 Vegetační doprovod vodních toků. [5],[7],[9]

Vegetační doprovod

Tvoří jej stromy a keře rostoucí poblíž vodního toku, většinou na pozemcích správce toku. Břehový porost je dřevinný vegetační doprovod, co zajišťuje nebo zvyšuje odolnost koryta. Je součástí vodního toku a nachází se jak v bezprostřední blízkosti břehů, tak i na svazích břehů koryta. Měl by sloužit k následujícím účelům:

- zvýšení odolnosti břehů, předhrází, ochranných hrází před účinky proudící vody, vln, chodu ledů, atd.
- zajištění podmínek potřebných pro život v toku, zlepšení samočistící schopnosti toku
- krajinnotvorná, estetická, rekreační funkce, začlenění toku do krajiny, omezení splachu do koryta, omezení účinků větru, atd. [5],[7],[9]

Doprovodný porost toku

Je dřevinný vegetační doprovod, jehož funkce je bioklimatická, všeobecně ochranná, estetická, atd., nachází se v předhrází, ochranných hrází a za hrázemi. Je žádané, aby co možná největší část vegetačního doprovodu sloužila jako břehový porost, neboli plnila funkci opevnění koryta. [5],[7],[9]

Dřevinná vegetace odstraněná během úpravy toku, musí být nahrazena novou výsadbou. Ekologické vakuum vzniká odstraněním vyspělé zeleně, kdy nově vysázená zeleň ještě neplní zcela svou funkci, ale začne ji plnit během několika let. V návrhu se musí zohledňovat výškové situování dřevin a jejich přípustné doby zatopení. [5],[7],[9]

Hladina setrvalých průtoků ve vegetačním období:

javor, lípa, dub	1,5 – 2 m pod terénem
jasan	1,0 m pod terénem
olše	0,5 m pod terénem

Přípustná doba zatopení nadzemní části dřevin:

	mimo vegetační dobu	ve vegetační době
vrba	30 - 60 dní	20 - 30 dní
olše	20 - 30 dní	15 - 20 dní
dub, jasan, topol	15 - 20 dní	10 - 15 dní

Například vrba potoční je schopna snést dobu zatopení 180 – 270 dní, nebo až rok.[7]

Vzdálenost dřevinného vegetačního doprovodu od nezalesněných pozemků (mimo neplodnou půdu), je minimální vzdálenost 3 m pro stromy a 1 m pro keře. U křížení toku se silničním nebo železničním mostem je minimální vzdálenost výsadby 10 m od opěr mostu.

Porost by měl být pokud možno souvislý, vysázen tak, aby se měnila jeho výška, v nižších a břehových partiích by měly být dřeviny ohebné. Bermy užší než 20 m se nechávají volné, vzdálenost výsadby od paty hráze jak na vzdušné tak na návodní straně, se určuje podle stability hráze. Ve většině případů by výsadba neměla být blíže než 8 až 10 m, u hrází s výškou přes 2 m a 4 až 8 m u hrází s výškou menší než 2 m. Spon keřových sazenic se volí v rozmezí 0,5 až 1 m a u stromů 2 až 4 m.[7]

2.8 Zásady pro opevňování břehů koryt:

- 1) Použití keřových porostů, jako ochrana proti povětrnostním vlivům během vzrůstu stromů. Tento keřový porost bude později potlačen vzrostlými stromy.
- 2) Sazenice stromů se vysazují ve stáří 3 až 5 let, podle potřeby se porost doplňuje
- 3) U bystřinných šterkových toků s širokým dnem a nízkými břehy je nejvhodnější dřevinou olše lepkavá, nebo ve vápenatých půdách jasan. Vysazují se v jedné řadě v minimální vzdálenosti 1,5 až 3 m v konkávě a 3 až 6 m v přímých úsecích.
- 4) U hlubokých hlinitých vod, nebo u toků s hloubkou větší než 0,8 m ve vegetačním období, je nutné zajistit patu svahu kamenným záhozem.

- 5) U dolních úseků nížinných toků, v nejnižší poloze břehové čáry vysadit dřeviny podle nejčastějšího výskytu v místě úpravy.
- 6) Na konvexních březích, kde nestačí zatravnění, vysadit jasany, javory topoly, aby zastínili keřovité vrby.
- 7) U velkých délek svahů, nestačí jedna řada výsadby, nutno vysazovat hluboko kořenící dřeviny jako jasany, topoly.
- 8) Jilm-vaz je vhodná dřevina pro hustou plošnou výsadbu a do dlouhých svahů.
- 9) Stromy vysazovat minimálně 0,6 m nad hladinu průměrného průtoku ve vegetačním období, nebo u malých toků a bystřin zhruba 0,6 m nad dno.
- 10) Skladba stromů u břehových porostů musí odpovídat estetickým a ekologickým požadavkům, zapadat do krajiny. [7]

3. Rámcový návrh opatření toku Hvozdnice v úseku „Otice – Opava“

Během zkoumání a hodnocení vybraného úseku řeky Hvozdnice, vyplynuly dvě pravděpodobné komplikace související nežádoucím účinkem povodňových průtoků:

- a) Možnost zatopení Čistírny odpadních vod Otice
- b) Možnost přetoku vody do Otického příkopu a zaplavení městské části Opava – Kylešovice



Obrázek 4 Situace s Otickým příkopem

Návrh řešení problému

V ideálním případě by bylo, kdyby se oba tyto hlavní problémy vyřešili jednou úpravou. První z možností řešící oba potenciální problémy současně je zkapacitnění koryta snížením levostranné bermy v úseku 2,27 – 1,25 ř. km (příčné profily 1 až 30). Při snížení výšky bermy o zhruba 0,6 m zvýšíme průtočnou kapacitu koryta zhruba o 15%. Taková to úprava spotřebovala nemalé finanční prostředky na stavební práce, ale hlavní položku by tvořil transport vytěžené zeminy na místo úložiště (asi 3000 m³ zeminy).

Další možností by bylo použití vytěžené zeminy pro posílení a navýšení stávajícího ochranného valu, tím by se značně snížili náklady související s přepravou vytěženého

materiálu. To ovšem pouze v případě, že by vytěžená zemina splňovala potřebné vlastnosti, požadované pro konstrukci ochranných valů.

Porovnání průtokových poměrů současnosti a návrhu

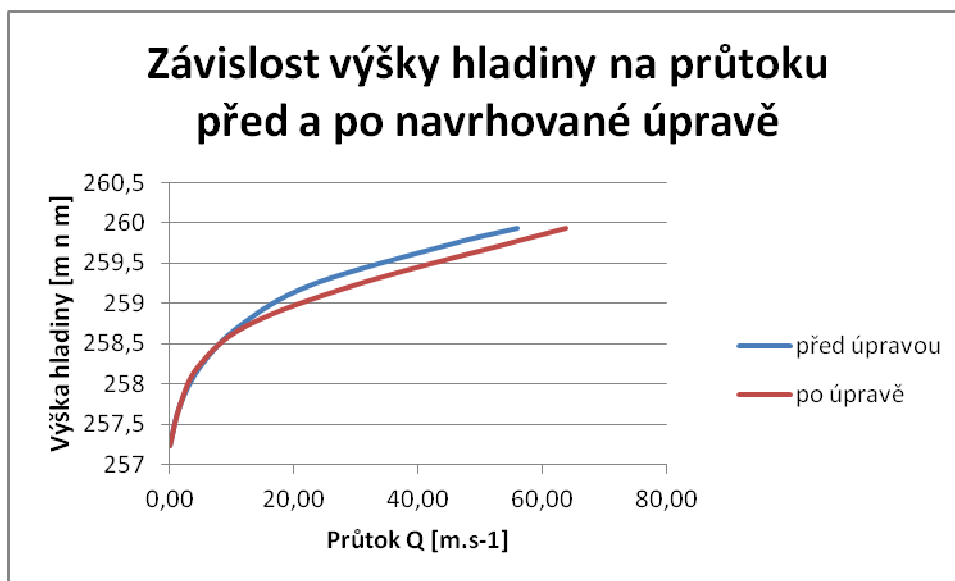
Počítáno pro příčný profil č. 7, při sklonu $i = 0,00116^\circ$.

omočený obvod [m]	výška hladiny [m]	průtočná plocha [m ²]	hydraulický poloměr [m]	rychlostní součinitel $m^{1/3} s^{1/3} (-1)$	průtočná rychlost [m.s ⁻¹]	průtok [m ³ .s ⁻¹]
2,5882	257,23	0,1289	0,05	24,26	0,18	0,02
5,2707	257,73	2,1686	0,41	34,50	0,75	1,63
7,9341	258,23	5,0222	0,63	37,06	1,00	5,04
11,1760	258,73	9,4196	0,84	38,88	1,22	11,45
20,9133	259,23	18,3077	0,88	39,12	1,25	22,82
23,3044	259,73	28,7572	1,23	41,43	1,57	45,07
24,2608	259,93	33,2411	1,37	42,16	1,68	55,87

Tabulka 1 Průtokové poměry v současnosti

omočený obvod [m]	výška hladiny [m]	průtočná plocha [m ²]	hydraulický poloměr [m]	rychlostní součinitel $m^{1/3} s^{1/3} (-1)$	průtočná rychlost [m.s ⁻¹]	průtok [m ³ .s ⁻¹]
2,5882	257,23	0,1289	0,05	24,26	0,18	0,02
5,2707	257,73	2,1686	0,41	34,50	0,75	1,63
10,3156	258,23	5,3699	0,52	35,88	0,88	4,73
18,3315	258,73	12,1683	0,66	37,36	1,04	12,61
20,8338	259,23	21,5314	1,03	40,22	1,39	29,98
23,2249	259,73	31,9810	1,38	42,19	1,69	53,93
23,9658	259,93	35,8047	1,49	42,77	1,78	63,75

Tabulka 2 Průtokové poměry po navrhované úpravě



Graf 1 Závislost výšky hladiny na průtoku před a po navrhované úpravě

4. Zhodnocení odtokových poměrů

Proudění vody v korytě může být stacionární neboli ustálené (na čase nezávislé) nebo nestacionární (neustálené), které se mění v čase. Pro hydraulické výpočty rychlostí v otevřeném korytě se vychází z Chézyho rovnice[11]

$$v = C\sqrt{Ri}$$

C – Chézyho rychlostní součinitel

R – hydraulický poloměr

i – hydraulický sklon

Výpočet hydraulického poloměru:

$$R = \frac{S}{o}$$

S – průtočná plocha

o – omočený obvod

Pro vyčíslení Chézyho rychlostního součinitele použijeme Manningův vzorec:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

Kde: n – stupeň drsnosti

Stupeň drsnosti na sledovaném úseku byl stanoven podle tabulky drsností pro otevřená koryta toků a podle online katalogu drsností:[9] [10]

$$n = 0,0025$$

Po zjištění všech výše popsaných proměnných lze spočítat výsledný průtok:

$$Q = Sv$$

Vzorový výpočet pro výšku hladiny 257,23 m n m:

$$o = 2,5882, S = 0,1289, i = 0,00116$$

$$R = \frac{S}{o} = \frac{0,1289}{2,5882} = 0,05 \text{ m}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,0025} * 0,05^{\frac{1}{6}} = 24,26 \text{ m}^{0,5} \text{ s}^{-1}$$

$$v = C \sqrt{Ri} = 24,26 \sqrt{0,05 * 0,00116} = 0,18 \text{ m s}^{-1}$$

$$Q = Sv = 0,1289 * 0,18 = 0,02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Výpočty na jednotlivých profilech jsem zjistil, že kapacita koryta v úseku od Otice, až po ústí Hvozdnice do řeky Moravice je schopna pojmout takzvanou „dvacetiletou“ vodu, neboli takový vodní stav vyskytující se s pravděpodobností jednou za 20let.

Ukázkové výpočty na příčném profilu č. 7 (příloha č. 3.1)

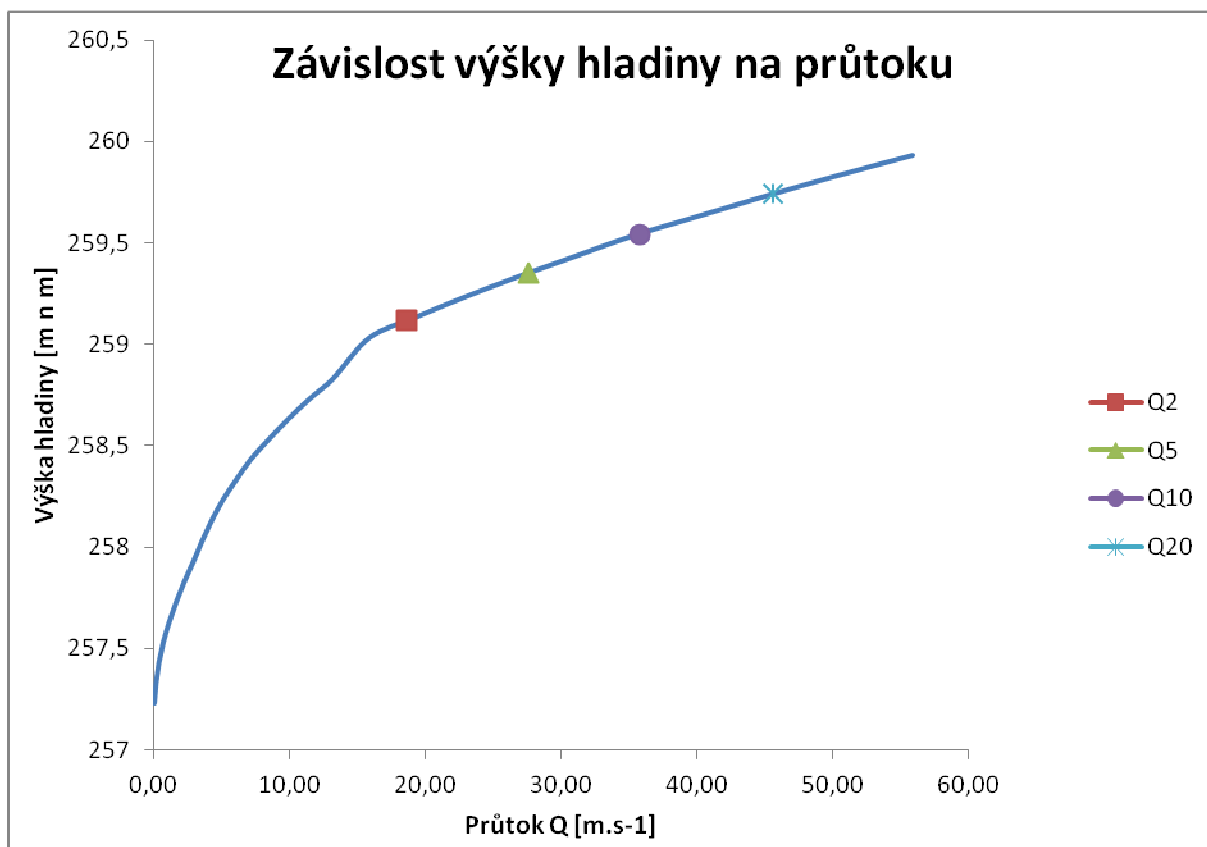
Hodnotu omočeného obvodu, průtočné plochy a výšku hladiny jsem odečetl a změřil v programu AutoCAD 2010. Pro výpočet jsem nadefinoval výše uvedené vzorce do programu MS excel.

omočený obvod [m]	výška hladiny [m n m]	průtočná plocha [m ²]	hydraulický poloměr [m]	rychlostní součinitel $m^{1,0,5} s^{1,(-1)}$	průtočná rychlost [m.s ⁻¹]	průtok [m ³ .s ⁻¹]
2,5882	257,23	0,1289	0,05	24,26	0,18	0,02
3,362	257,33	0,4226	0,13	28,31	0,34	0,14
4,1359	257,43	0,7881	0,19	30,34	0,45	0,36
4,7404	257,53	1,2229	0,26	31,91	0,55	0,68
5,0129	257,63	1,6876	0,34	33,36	0,66	1,11
5,2707	257,73	2,1686	0,41	34,50	0,75	1,63
5,5285	257,83	2,6658	0,48	35,42	0,84	2,23
5,7864	257,93	3,1793	0,55	36,20	0,91	2,91
6,4025	258,03	3,7268	0,58	36,55	0,95	3,54
7,1408	258,13	4,3369	0,61	36,81	0,98	4,24
7,9341	258,23	5,0222	0,63	37,06	1,00	5,04
8,6047	258,33	5,7782	0,67	37,43	1,04	6,04
9,2605	258,43	6,5568	0,71	37,76	1,08	7,10
9,9093	258,53	7,4775	0,75	38,17	1,13	8,44
10,5426	258,63	8,4186	0,80	38,53	1,17	9,87
11,1760	258,73	9,4196	0,84	38,88	1,22	11,45
11,8093	258,83	10,4805	0,89	39,21	1,26	13,19
19,9569	259,03	14,4319	0,72	37,90	1,10	15,84
20,4351	259,13	16,3480	0,80	38,54	1,17	19,19
20,9133	259,23	18,3077	0,88	39,12	1,25	22,82
21,3916	259,33	20,3107	0,95	39,66	1,32	26,73
21,8698	259,43	22,3572	1,02	40,15	1,38	30,91
22,3388	259,53	24,3396	1,09	40,58	1,44	35,11
22,8262	259,63	26,5805	1,16	41,03	1,51	40,08
23,3044	259,73	28,7572	1,23	41,43	1,57	45,07
23,7826	259,83	30,9775	1,30	41,80	1,62	50,33
24,2608	259,93	33,2411	1,37	42,16	1,68	55,87

Tabulka 3 Ukázkové výpočty na příčném profilu č. 7

A z této vypočtené tabulky jsem vytvořil graf závislosti výšky hladiny na průtoku. Tuto závislost popisuje polynomičká rovnice 6. Stupně:

$$y = -2^{-9x^9} + 4^{-7x^7} - 3^{-5x^5} + 0,001x^9 - 0,0203x^8 + 0,2608x + 257,32$$



Graf 2 Závislost průtoku na výšce hladiny

V grafu jsou vyznačeny průtoky některých N- letých vod, pro které známe hodnoty na daném profilu, kde, Q_n označuje průtok s pravděpodobností výskytu jednou za n let.

Q_1	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}
13,5	18,6	27,5	35,9	45,8	61,3	75,1

Tabulka 4 N- leté průtoky

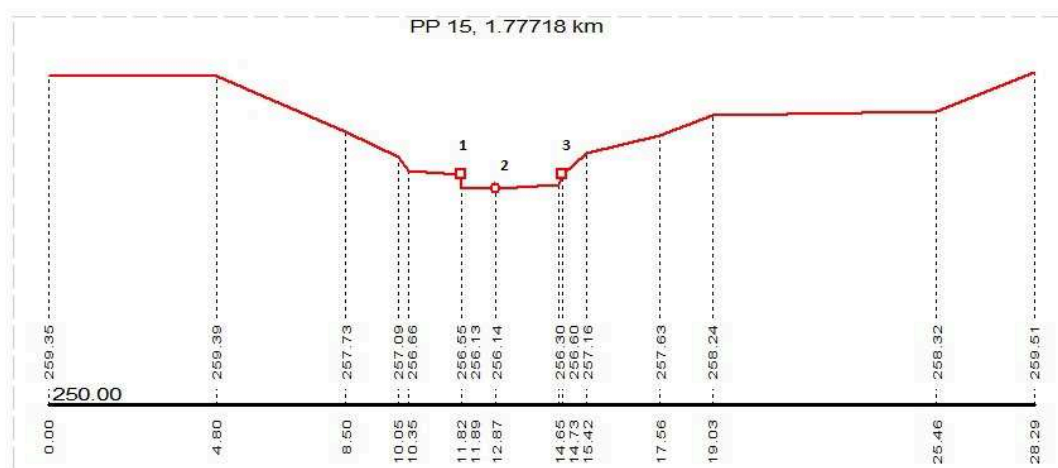
Jak je zobrazeno v příčných profilech(příloha č. 3.4), koryto je současné době upraveno tak, aby nebylo umožněno rozlití dvacetileté vody na levém břehu, kde hrozí, již zmíněné přetečení do Otického příkopu. Zahlcení Otického příkopu poté působí značné škody na obytných budovách v Opavě – Kylešovicích.

Větší pravostranný rozliv se nachází, na posledních 200m toku, začínající několik desítek metrů před pravostranným přítokem, Macalky. V tomto úseku ustupuje pole od břehu koryta a nachází se zde zbytky lesa s množstvím náletových dřevin na velmi zvlněném terénu. Takováto situace se táhne až k ústí do Moravice.

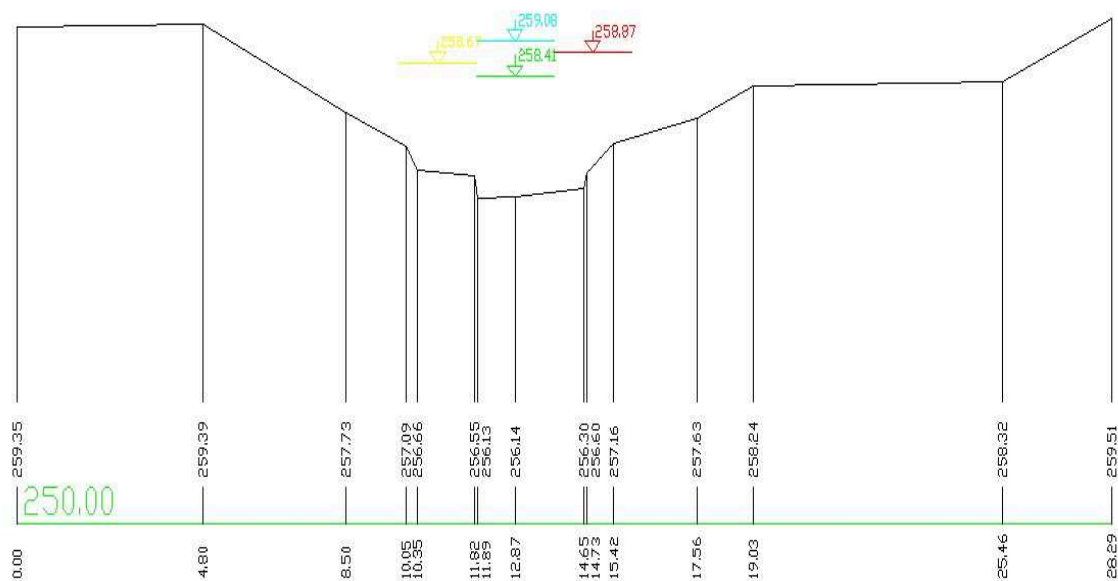
Pro lepší pochopení dosažených výsledků v přílohách následuje popis situace s vysvětlením. Na obrázku č. 5 je vyfocené skutečné místo, kde se nachází příčný profil č. 15, jedná se o pohled po proudu. Obrázek č. 7 ukazuje již vynesení profilu a zobrazuje v něm výšky povodňových průtoků. Předchozí obrázek č. 6, zobrazuje v profilu body určující levý (bod č. 3), pravý (bod č. 1) břeh za běžných nezvýšených průtoků a niveletu dna (bod č. 2). Výřez z přílohy č. 2 - podélného profilu (obrázek č. 8) pak již zobrazuje výšku povodňových průtoků vzhledem k výšce břehů za běžných nezvýšených průtoků.



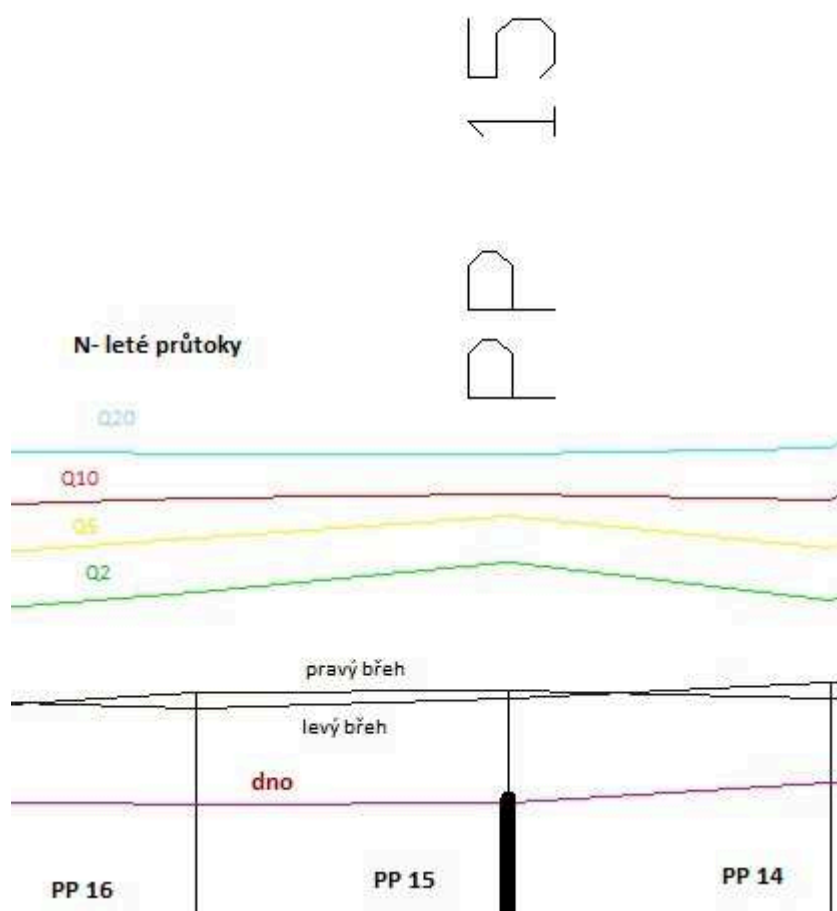
Obrázek 5 Fotka skutečného místa profilu 15, pohled po proudu



Obrázek 6 Náhled profilu 15 s vyznačenou niveletou dna a břehy za běžných průtoků



Obrázek 7 Náhled příčného profilu 15 s výškami povodňových průtoků



Obrázek 8 Výřez z podélného profilu

5. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval hodnocením hydraulických poměrů panujících na řece Hvozdnici v úseku Otice - Opava.

V úvodní kapitole jsem se snažil popsat základní informace o řece Hvozdnici, které by měly vytvořit dostatečnou představu o podmínkách na ní panujících. Následující kapitolou jsem se pokusil podat informace o obecných možnostech úpravy toku a případech jejich použití, se zaměřením na ochranné hráze a opevnění.

V další kapitole navrhuji úpravy v určitých úsecích a dávám možnost srovnání, jak to vypadá v současném stavu a jak by to vypadalo po mnou navrhované úpravě.

Poslední kapitola, kde hodnotím stávající odtokové poměry, jsem vyhodnocoval schopnost koryta vypořádat se s povodňovými průtoky a posoudit jakou ochranu poskytuje svému okolí. Zjistil jsem, že kryto v současné podobě je schopno pojmout dvacetiletou vodu aniž by voda přetekla do Otického příkopu, nebo zaplavila majetek v přilehlém okolí.

Seznam použité literatury a internetové zdroje:

1. Povodí Odry a. s., státní podnik. *Atlas toků*. [online]. 2012.
[vid. 12-3-2014] Dostupné na WWW:
<http://www.pod.cz/atlas_toku/hvozdnice.html>
2. Buček, Antonín, Ďuriš, Zdeněk, Lojkásek, Bohumír, Maděra, Petr, Štykar, Jan. *Hvozdnice* [online]. 2006. [vid. 19-4-2014] Dostupné na WWW:
<http://www.pod.cz/projekty/flora_a_fauna/VHPOP/DatrekyOp/hvozdnice.html>
3. Maleňák, Jaroslav, Miloslav Šlezinger, and Otto Podsedník. *Vodní stavby I: úpravy toků, jezy, vodní cesty a plavba*. Brno: CERM, 2002, ISBN 8021421657
4. Patočka, Cyril, and Lukáš Macura. *Úpravy toků*. Praha: SNTL, 1989, ISBN 8003002036
5. Mareš, Karel. *Projektování úprav toků: Určeno pro posl. fak. stavební*. Praha: Čes. vys. učení techn, 1974.
6. Ministerstvo zemědělství České republiky. *Katalog opatření, list 35 – Suché a polosuché poldry* [online]., 2005, [vid. 2014-03-27] Dostupné na WWW:
<http://eagri.cz/public/web/file/37061/_35_poldry.pdf>
7. Mareš, Karel. *Úpravy toků: Navrhování koryt : Určeno pro stud. fak. stavební*. Praha: ČVUT, 1988.
8. ENVIC, Občanské sdružení. *Přírodě blízká protipovodňová opatření* [online]., 2013, [vid. 19-3-2014] Dostupné na WWW:< <http://old.envic-sdruzeni.cz/opzp/opzp-aktuality/prirode-blizka-protipovodnova-opatreni.htm>>
9. Raplík, Milan, Výbora, Pavel, and Mareš, Karel. *Úprava tokov*. Bratislava: alfa, 1989. ISBN 8005001282

10. <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/e-learning>

11. Julien, Pierre Y. *River Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. ISBN 1139164015.

12. United nations humas settlements programme (Un- Habitat). *Mitigation, Management and Control of Floods in South Asia Volume One*. United Kingdom. 2002 ISBN 9211316677

Obrázek 1 Zvýrazněná řeka v mapě [1].....	3
Obrázek 2 Úprava toku ohrazováním	8
Obrázek 3 Úprava toku zkapacitněním koryta	8
Obrázek 4 Situace s Otickým příkopem	25
Obrázek 5 Fotka skutečného místa profilu 15, pohled po proudu	32
Obrázek 6 Náhled příčného profilu 15 s výškami povodňových průtoků	33
Obrázek 7 Náhled profilu 15 s vyznačenou niveletou dna a břehy za běžných průtoků.....	33
Obrázek 8 Výřez z podélného profilu	34
Graf 1 Závislost výšky hladiny na průtoku před a po navrhované úpravě	27
Graf 2 Závislost průtoku na výšce hladiny	31

Přílohy:

Výkresová dokumentace k zájmovému území

1. Situace
2. Podélný profil
3. Vzorové příčné profily
 - 3.1 Příčný profil č. 7 (2,10 ř. km)
 - 3.2 Příčný profil č. 22 (1,56 ř. km)
 - 3.3 Příčný profil č. 49 (0,24 ř. km)